

Evaluación preliminar del potencial de acuíferos profundos en la cuenca del valle de México

Peter Birkle
Vicente Torres
Eduardo González

Instituto de Investigaciones Eléctricas

El abatimiento de los niveles piezométricos en los pozos, los daños a edificios y a la infraestructura de la Ciudad de México, y la baja calidad del agua potable de la cuenca del valle de México son consecuencias de la sobreexplotación de los acuíferos someros. Esta situación requiere de la búsqueda de nuevas alternativas que van desde un uso más eficiente del agua por parte de la población, el mejoramiento en el sistema de manejo y explotación de la cuenca, hasta la explotación de acuíferos regionales profundos. A partir del estudio litológico de los pozos profundos Roma-1, Mixhuca-1 y Texcoco-1 se construyó una sección hidrogeológica que corta la zona metropolitana en dirección oeste-noreste, pasando por el centro. Se seleccionaron zonas por sus características litológicas que pudieran presentar condiciones favorables para el almacenamiento de agua. Así, el área del centro hasta el oeste de la cuenca parece adecuada para la existencia de acuíferos profundos, por la presencia de tobas, brechas y conglomerados. Las profundidades de estos acuíferos potenciales son de 320 a 1220 m en el oeste del Valle (pozo Roma-1) y 380 m a 860 m en el centro (pozo Mixhuca-1). Para la verificación de estas hipótesis se requiere de nuevos sondeos, diseñados, explícitamente para la investigación de acuíferos profundos: definición de unidades litoestratigráficas, muestreo de porciones aisladas de acuíferos, caracterización química, bioquímica e isotópica de aguas, fechamiento de aguas, obtención de núcleos para su caracterización petrofísica completa, y pruebas experimentales in situ para la obtención de parámetros de almacenamiento, conductividad hidráulica y transmisibilidad, entre otros.

Palabras clave: acuíferos profundos, pozos profundos, nivel piezométrico, estudio litológico, almacenamiento de agua.

Introducción

El crecimiento de la zona metropolitana del valle de México exige nuevas opciones para resolver el problema de abastecimiento de agua para más de veinte millones de habitantes. Actualmente la ciudad consume más de 60 m³/s de agua, con un consumo per cápita de 320 lpd, y la cifra va en aumento. Por otra parte, la infraestructura hidráulica es vieja, se encuentra en mal estado y sufre continuos daños, relacionados, también, con el hundimiento de la ciudad.

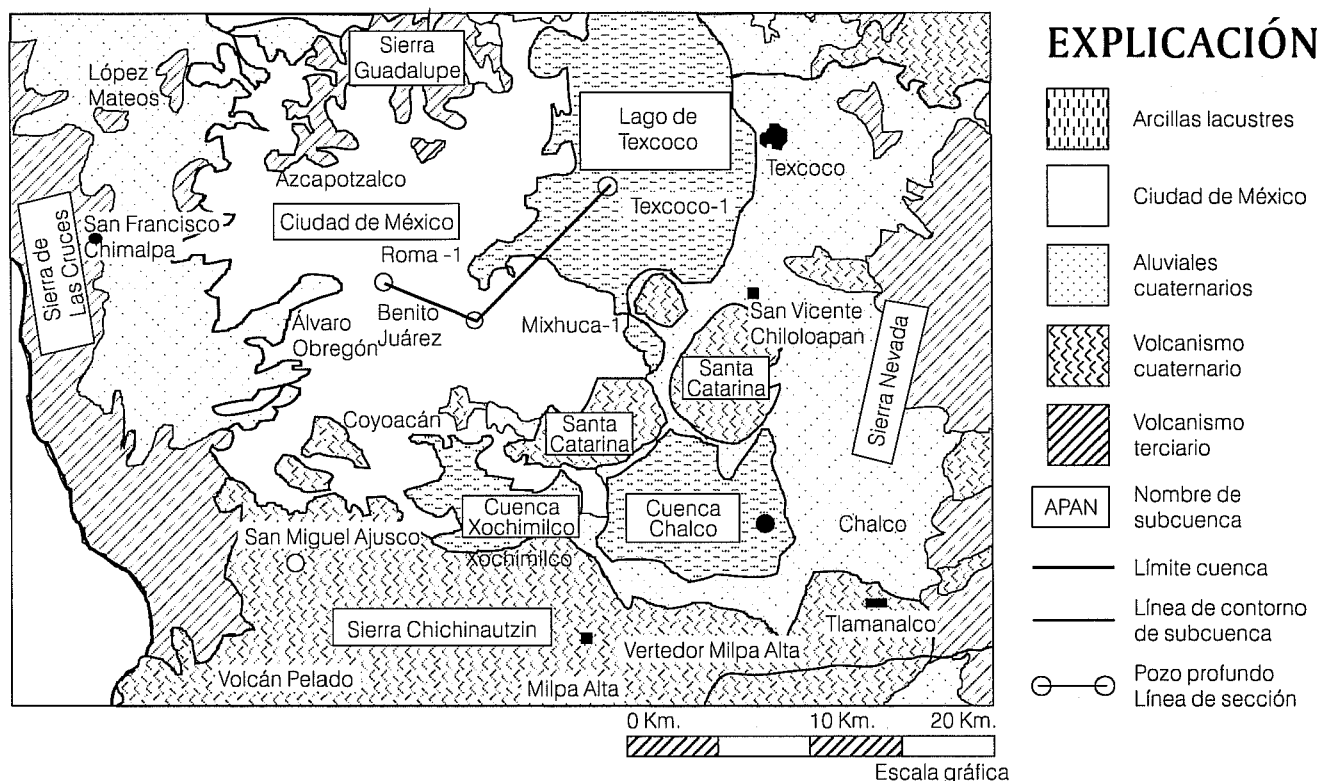
De las fuentes de agua disponibles, el 75% procede del subsuelo, el 12% se importa de las cuencas Cutzamala y Lerma y el resto de diversas fuentes superficiales.

De las fuentes de agua superficiales, las proceden-

tes del río Lerma son conducidas a la ciudad por un túnel que cruza la sierra de Las Cruces. Por su parte las del Sistema Cutzamala son conducidas 127 km y bombeadas 1 200 m con un consumo de energía muy alto. Para el año 2000 se tiene programado bombear 44 m³/s de la cuenca de Tecolutla, con una diferencia de elevación de 2 000 m. Un cálculo sencillo de la energía necesaria para este trabajo señala una demanda de energía eléctrica entre 5 000 a 6 000 megavatios.

El conocimiento actual del sistema hidrogeológico de la cuenca del valle de México es incompleto. Únicamente se cuenta con modelos preliminares de funcionamiento del acuífero somero. Con respecto a la cuenca profunda y al acuífero regional, la información es aún más escasa, y los modelos disponibles se encuentran en sus primeras etapas de conceptualización.

1. Localización de los pozos profundos Roma-1, Mixhuca-1 y Texcoco-1, y esquema geológico de la cuenca del valle de México



En este trabajo se presenta información sobre la litoestratigrafía de la cuenca del valle de México, hasta una profundidad máxima de 3 200 m, incluyendo los horizontes de acuíferos aprovechados actualmente. Se plantea la posibilidad de explotación de acuíferos profundos, como una de las estrategias para disminuir y revertir el impacto sobre el acuífero somero, actualmente en sobreexplotación. De comprobarse la hipótesis propuesta, la zona metropolitana del valle de México podría contar con una fuente adicional de agua proveniente de la región.

Geología del valle de México

Para definir el potencial de un acuífero, primero se debe investigar su estructura geológica. En general, la composición del subsuelo del valle de México es muy variable en todas direcciones, tanto horizontales como verticales. Simplificadas, se pueden distinguir cuatro unidades litológicas:

- Arcillas lacustres
- Piroclastitas volcánicas
- Lavas volcánicas
- Carbonatos cretácicos

La fuente de información más importante sobre la composición litológica profunda del valle de México procede de los resultados de los cuatro pozos profundos (Roma-1, Mixhuca-1, Tulyehualco-1 y Copilco-1) perforados por Petróleos Mexicanos, PEMEX, (PEMEX, 1987a y 1987b) y del pozo Texcoco-1 del año 1969 (SHCP, 1969; Oviedo, 1970), los que no se han interpretado desde el punto de vista hidrogeológico regional.

Con base en el análisis de la textura y la composición de los núcleos de los pozos Roma-1 (3 200 m de profundidad) y Mixhuca-1 (2 452 m de profundidad), y de datos litológicos del pozo Texcoco-1 (2 065 m de profundidad), ilustración 1, se integró una sección hidrogeológica, con dirección oeste-noreste, que pasa por el centro de la ciudad, ilustración 2.

La estratigrafía tiene sus simplificaciones y restricciones por la pequeña cantidad de núcleos de perforación disponible en cada pozo. Las divisiones estratigráficas mayores se han apoyado en los registros eléctricos de los sondeos corridos en los pozos. Cabe aclarar que las correlaciones aquí expuestas son exclusivamente hidrogeológicas.

El espesor de las formaciones varía mucho dentro del Valle: la unidad lacustre del periodo plioceno-cuaternario, consiste de arcillas aluviales con arenas inter-

caladas (capas duras), tiene un espesor de menos de 50 m en el oeste, 180 m en la zona centro y hasta 500 m en la región de Texcoco.

Debajo de las arcillas lacustres aparece una secuencia de materiales que hidrogeológicamente se pueden clasificar como de tipo granular. Están integrados por piroclastitas (tobas líticas, vítreas, vitrolíticas y lacustres) brechas y conglomerados. Ocasionalmente aparecen coladas de lavas andesíticas, latíticas y dacíticas, pero de espesores reducidos. Estas rocas pertenecen al mioceno superior.

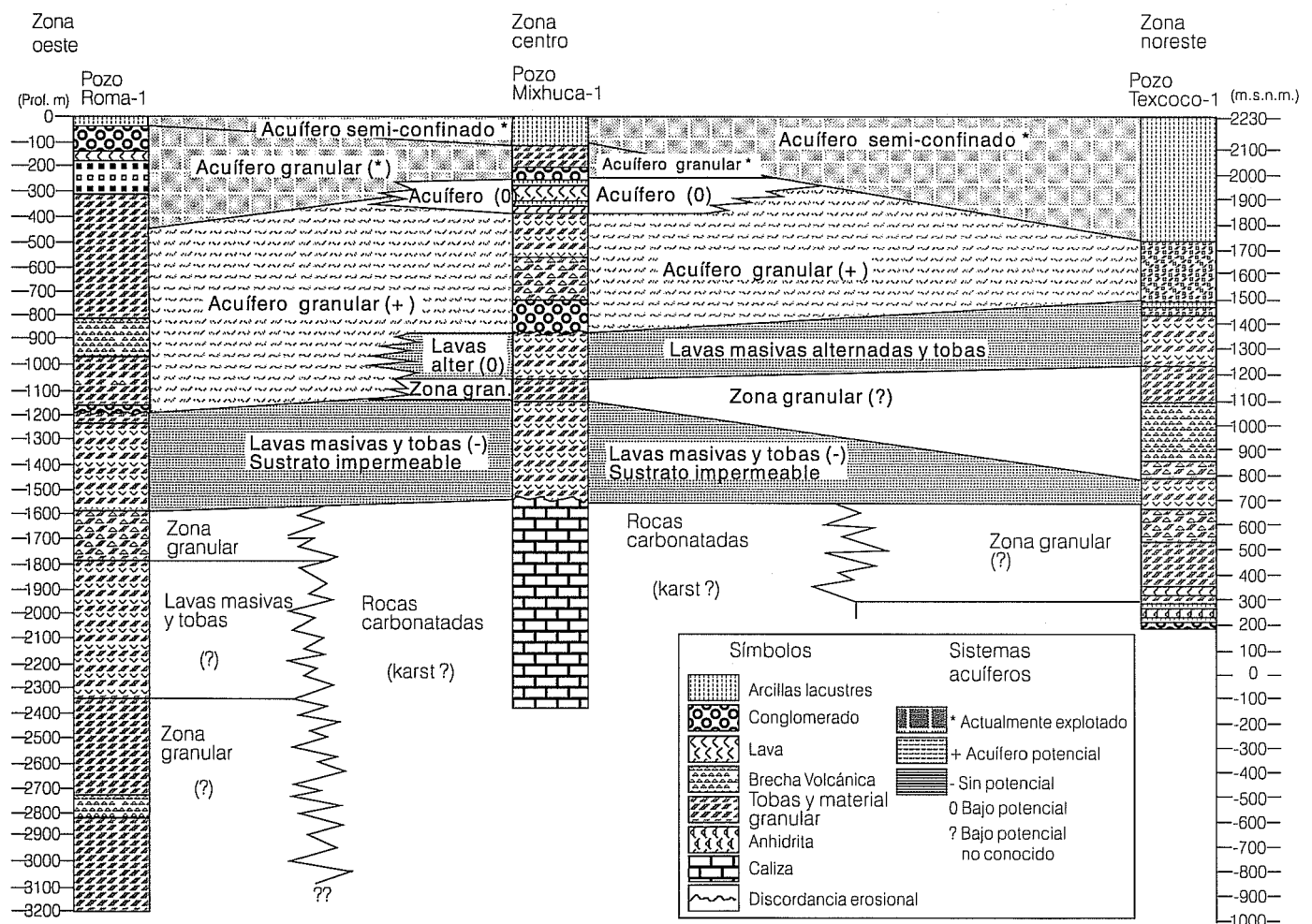
En el pozo Roma-1 la secuencia granular se identificó en el intervalo 50-1 220 m de profundidad, donde está formada por capas de tobas líticas, tobas vítreas, tobas riolíticas y tobas lacustres. La base de esta unidad está constituida por conglomerados petromicticos formados por fragmentos redondeados de rocas volcánicas, en una matriz cloritizada.

Por su parte, en el pozo Mixhuca-1, la unidad está formada por una secuencia de piroclastos y epiclastitas dacíticas, tobas brechosas, y conglomerados a la base, así como por algunos horizontes de lavas andesíticas y cuarzo-latíticas. La edad de estas rocas es del plioceno al mioceno medio o superior.

El intervalo conocido de la secuencia granular en el pozo Mixhuca-1 se ubica entre los 380 a 860 m de profundidad; las lavas aparecen entre 270 a 380 m. Por último, en el pozo Texcoco-1 los materiales granulares ocupan el intervalo de 500 a 760 m, y están constituidos por tobas y conglomerados.

Debajo del material granular se presenta un cambio litológico importante: la aparición de gruesos estratos de rocas volcánicas efusivas, principalmente andesitas, intercaladas con cantidades menores de tobas y brechas. La edad de estas rocas varía del mioceno superior al oligoceno superior.

2. Sección hidrogeológica oeste-centro-noreste en la cuenca del valle de México



Para el caso del pozo Roma-1 las rocas volcánicas aparecen desde la profundidad de 1 220 m hasta los 1580 m. En este pozo las lavas son de composición andesítica, aspecto masivo, no alteradas y poco fracturadas, y prácticamente impermeables. Este mismo horizonte también se ha detectado en los pozos Mixhuca-1 y Texcoco-1. En el primero en el intervalo 880-1 580 m de profundidad, donde está formado por andesitas alteradas (880-1 090 m) y basaltos y andesitas (felsíticas) no alteradas (1 130-1 580 m), mientras que en el pozo Texcoco-1 aparece en el intervalo 1 450-1 550 m de profundidad, ilustración 2.

Abajo de las secuencias efusivas descritas aparecen conjuntos litológicos de variada composición. Al oeste en el pozo Roma-1, a partir de los 1 580 m, aparece una gruesa secuencia de materiales granulares, formados por brechas volcánicas intercaladas con tobas, tobas interestratificadas con lavas, y tobas hasta el fondo de pozo (3 200 m). Esta litología contrasta con las rocas obtenidas en el pozo Mixhuca-1, donde a partir de los 1 580 metros hasta la profundidad total del pozo (2 450 m) aparecen secuencias carbonatadas formadas por calizas cretácicas. El contacto entre las calizas y las efusiones lávicas es mediante discordancia erosional. Es evidente que entre los pozos Roma-1 y Mixhuca-1 existe la falla normal Mixhuca con desplazamiento de más de 1 000 metros. Por su parte, las rocas más profundas alcanzadas por el pozo Texcoco-1 (intervalo 1 550-2 060 m) están formadas por intercalaciones de brechas con tobas, tobas, efusiones lávicas, anhidritas, arcillas y conglomerados.

Los pozos Roma-1 y Mixhuca-1 muestran influencias significativas de los sitios volcánicos próximos en forma de tobas y lavas primarias y tobas lacustres retrabajadas (epiclastitas). Su origen se encuentra en la sierra las Cruces, mientras que Texcoco-1 tiene una predominancia de arcillas lacustres *in-situ*.

Hidrogeología del valle de México

La estructura y funcionamiento de los acuíferos del valle de México no se conocen con precisión. Los resultados de balance de agua muestran variaciones importantes, por ejemplo, según datos de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, SARH, y de la Comisión del Plan Nacional Hidráulico, CPNH, (1981) la explotación de la cuenca alcanza los 73 m³/s; por su parte Durazo y Farvolden (1989) también señalan que no existe déficit en el balance de aguas subterráneas de la cuenca, donde la explotación y la recarga tienen el valor de 55 m³/s; pero según evaluaciones de la Comisión Regional de la Zona Metropolitana y Estados Circunvecinos, la explotación de los acuíferos es de

50 m³/s, y su recarga de 25 m³/s. Por otra parte, la zona de recarga superficial se ve continuamente disminuida por el crecimiento urbano.

Birkle *et al.*, (1995) calcularon una cantidad de 226 m³/s para la precipitación total del valle de México, de la cual se infiltran y descargan superficialmente entre 41 m³/s y 47 m³/s ($\pm 10\%$). Por otra parte, el consumo de 62 m³/s (1 955 millones de m³/año) de agua por aproximadamente veinte millones de personas demanda la extracción de 42 m³/s de acuíferos dentro del Valle y de 20 m³/s importados de cuencas externas. Los acuíferos principales que se explotan actualmente, ilustración 2, son:

- Un acuífero semiconfinado en arcillas lacustres con capas de arenas intercaladas (denominadas tradicionalmente *capas duras*). Su profundidad es entre 0 a 200 m aunque se conocen explotaciones de hasta 400 m como máximo.
- Un acuífero granular y no confinado de piroclastitas y epiclastitas. Este acuífero está explotado hasta una profundidad de 400 m, mientras su parte más profunda todavía no se utiliza.

Se puede ver que la zona principal de los acuíferos someros, está formada en arcillas lacustres y piroclastitas.

Evaluación del potencial de acuíferos profundos

La posibilidad de que existan acuíferos profundos en el valle de México se apoya fuertemente en la situación estructural de la cuenca del valle de México, la que reúne condiciones para la formación de acuíferos regionales. Desafortunadamente los estudios de acuíferos regionales se encuentran en sus primeras etapas en México, y no se dispone de los datos geoquímicos, isotópicos e hidrodinámicos, que permitan plantear modelos suficientemente sustentados.

En general, se ha evaluado la capacidad de formación de acuíferos en unidades granulares semiprofundas y profundas, formadas por conglomerados, brechas y tobas, las cuales presentan mejores condiciones para el almacenamiento de agua que las arcillas y tobas en explotación. El sello de los poros y de las fracturas con el incremento de la presión con profundidad y los altos costos de perforaciones profundas limitan hasta 1 200 m de profundidad las zonas posibles de explotación económica de agua.

La secuencia de materiales granulares es la zona que tiene las mejores posibilidades de formar acuíferos semiprofundos. Como ya se mencionó, esta secuencia descansa sobre rocas volcánicas efusivas

muy compactas las que hidrológicamente conforman el sustrato impermeable.

Con base en la litología obtenida en el pozo Roma-1, las mayores porosidades y permeabilidades se esperan en tobas riolíticas, tobas lacustres, brechas (320 a 1 150 m de profundidad) y conglomerados volcánicos (1 150 a 1 220 m). El sustrato impermeable de esta región lo constituyen cerca de 370 m de andesita de olivino, la cual está poco fracturada, es muy compacta y su grado de alteración es muy bajo. Esta roca junto con cantidades menores de tobas aparecen en el intervalo de 1 220 a 1 590 m de profundidad.

La mineralización secundaria observada en las andesitas está formada por calcita que rellena microfisuras, oxidación parcial de los ferromagnesianos y clorita, los cuales contribuyen a la impermeabilidad característica de esta formación.

Hacia el centro de la Ciudad de México, el pozo Mixhuca-1 revela la presencia de lavas andesíticas y dacíticas, así como arcillas lacustres entre 270 m y 380 m de profundidad que representan una zona con baja permeabilidad, la cual tiene características de un acuitardo.

Un acuífero granular con alto potencial, de una profundidad de 380 m hasta 860 m consiste de una secuencia piroclástica con tobas cristalinas, tobas brechosas y conglomerados volcánicos. Abajo de las piroclastitas, aparecen lavas andesíticas y basálticas que forman el sustrato impermeable del acuífero antes dicho.

Las lavas andesíticas mencionadas presentan un mayor grado de alteración y fracturamiento, incluyendo formación de clorita, calcita y epidota, comparativamente mayor que la alteración detectada en las rocas equivalentes del pozo Roma-1; no obstante, podrían formar acumulaciones de agua de muy bajo potencial entre los 860 y los 1 580 m de profundidad.

La base de la secuencia en el pozo Mixhuca-1 consiste de calizas cretácicas con texturas wackstone, packstone y mudstone. Sus vetillas están normalmente recrystalizadas por calcita, pero zonas con alteración hidrotermal y fracturas abiertas indican la posible existencia de un sistema de karst con la posibilidad del flujo de sistemas de agua.

De los pocos datos que existen del pozo Texcoco-1 en el este de la Cuenca, se puede proponer la secuencia de conglomerados y tobas entre 500 m y 760 m como parte del acuífero granular. Abajo de estas rocas aparece una capa de arcillas de unos 20 m de espesor, a partir de la cual se inicia una alternancia de tobas y lavas hasta los 1 000 m de profundidad; el común denominador de estos materiales es su baja permeabilidad, correlacionándosele con el sustrato imper-

meable ya descrito hacia el centro y poniente de la Cuenca.

A partir de esta profundidad y hasta 1 450 m aparecen nuevamente materiales granulares formados por tobas y brechas, en cuya base se presentan nuevas capas de lava. Dicho material granular podría presentar buenas condiciones de porosidad y permeabilidad, pero no se le considera con posibilidades de formar acuífero al estar contenido entre dos capas de lava impermeables, ilustración 2.

A partir de los 1 450 m y hasta los 2 060 m de profundidad se reducen las posibilidades de formación de acuíferos, tanto por la profundidad a la que se encuentran estos materiales, como por la presencia de capas de arcillas y la baja calidad del agua provocada por la presencia de horizontes de anhidrita.

Un aspecto importante en la investigación de acuíferos profundos es detectar el aislamiento de éstos con respecto a los acuíferos someros, para asegurar que no se siga deteriorando este último, es decir, impedir la mezcla de agua en forma de flujos verticales. En general, la probabilidad de encontrar rocas con permeabilidades y porosidades altas disminuye con la profundidad por la presión creciente.

Investigaciones necesarias en el futuro

Para la verificación del potencial de los acuíferos se requiere la perforación de nuevos pozos profundos diseñados explícitamente para la investigación hidrogeológica. El costo relativo de perforaciones profundas es significativamente menor si se compara con el costo de energía eléctrica utilizado en el bombeo desde cuencas vecinas y la afectación de las mismas. Desde 1993 se han hecho propuestas en este sentido (Torres, 1993; Birkle, 1994a,b) las cuales incluyen:

- Investigación de las propiedades hidrodinámicas y petrofísicas de los núcleos obtenidos en los pozos Roma-1, Mixhuca-1, Copilco-1 y Tulyehualco-1. Entre estas propiedades se cuenta con la capacidad experimental para medir: densidad total, densidad de grano, porosidad total, porosidad efectiva, permeabilidad horizontal, permeabilidad vertical, conductividad eléctrica y velocidad de ondas sísmicas. La mayoría de estas mediciones pueden realizarse en condiciones similares a las reales (hasta 2000 m de columna de roca y con distintos grados de saturación de los poros)
- Reinterpretación de los sondeos geofísicos de los mismos pozos, apoyados en los valores de las propiedades petrofísicas determinadas experimentalmente

- Perforación de nuevos pozos profundos diseñados explícitamente para la investigación de la hidrogeología profunda de la cuenca del valle de México. Se incluye el muestreo de porciones aisladas del acuífero
- Definición de unidades litoestratigráficas
- Caracterización química, bioquímica e isotópica de aguas
- Fechamiento de aguas profundas mediante tritio o carbono 14 o ambos isótopos
- Obtención de núcleos para su caracterización petrofísica e hidrodinámica completa
- Pruebas experimentales *in situ* para la obtención de parámetros de almacenamiento, conductividad hidráulica y transmisividad, entre otros
- Simulación numérica y experimental de acuíferos sometidos a alta presión
- Estudio de pronóstico de evolución de los acuíferos del valle de México
- Evaluación hidrogeológica del acuífero regional

Con una estrategia como la expuesta, se obtendrá información para el planteamiento de modelos conceptuales preliminares, así como la simulación de explotación de los acuíferos para la satisfacción de calidad y cantidad de agua. De comprobarse la hipótesis, la zona metropolitana de la Ciudad de México tendría una fuente adicional de agua y disminuiría el impacto sobre el acuífero somero sobreexplotado y sobre las cuencas superficiales vecinas.

Alternativas al uso de acuíferos profundos

Para solucionar el problema de la demanda creciente de agua en la cuenca de México, se pueden proponer varias soluciones administrativas, técnicas, educativas y políticas:

- Programa intenso de concientización de la población para el uso adecuado del agua, incluyendo la campaña de sustitución de depósitos de agua de baños, y el cambio de regaderas por otras de menor consumo y mejor diseño hidráulico
- Construcción de una red de captación de aguas fluviales y reinyección al acuífero somero, lo que involucra:
 - La adecuación en la Ley de Construcción del Distrito Federal para que todas las construcciones nuevas dispongan de sistemas de captación y separación de aguas de lluvia
 - La creación de la infraestructura hidráulica necesaria para manejar separadamente las aguas pluviales de las demás

- El fomento de la adaptación de sistemas equivalentes en construcciones antiguas
- El descuento del costo de las obras al precio del consumo de agua del usuario
- Mejorar el manejo de la infraestructura hidráulica:
 - mantenimiento del sistema
 - remplazamiento y automatización del sistema
- Reducir el consumo y la importación de agua de cuencas vecinas
- Incrementar el tratamiento de aguas residuales en porcentajes que incidan favorablemente en el balance de aguas de la cuenca

Conclusiones

El consumo de 62 m³/s (1 955 millones de m³/año) de agua de aproximadamente veinte millones de personas en el valle de México demanda la extracción de 42 m³/s de acuíferos adentro del Valle y 20 m³/s de fuentes externas.

Los acuíferos en la cuenca del valle de México tienen en general un potencial muy alto, pero la extracción de los acuíferos someros excede la capacidad de recarga en estos sistemas. La sobreextracción de los pozos provoca el hundimiento promedio de un metro por año de los niveles piezométricos.

De las secciones hidrogeológicas construídas, se pueden seleccionar zonas cuyas características litológicas presenten condiciones favorables para el almacenamiento de agua. El área del oeste hasta el centro de la cuenca, representada por los pozos Roma-1 y Mixhuca-1, parece adecuada para la existencia de acuíferos profundos. El acuífero granular con intercalaciones de tobas, brechas y conglomerados tiene un espesor de 900 m en Roma-1 (profundidad: 320 m-1 220 m), 480 m en el centro de la Ciudad de México (profundidad en el pozo Mixhuca-1: 380 m-860 m) y disminuye hasta un espesor de 260 m en el este del Valle (profundidad en el pozo Texcoco-1: 500 m-760 m).

Solamente nuevos sondeos profundos con investigaciones de la geología, geoquímica, isotopía, petrología, mecánica de rocas e hidrogeología pueden verificar los resultados de esta propuesta.

Es necesario declarar que las técnicas alternativas como la captación de aguas fluviales, el tratamiento de aguas residuales y la concientización de la población para la utilización racional del recurso, constituyen medidas que a corto plazo pueden mejorar el impacto sobre el acuífero actualmente sobreexplotado. A mediano plazo la zona metropolitana del valle de México tendrá que considerar la posibilidad de utilizar los acuíferos profundos, motivo del presente trabajo.

Recibido: mayo, 1995

Aprobado: julio, 1995

Referencias

- Birkle, P., V. Torres-Rodríguez; E. Gonzalez-Partida. *Effects of Evapotranspiration on the Water Balance of the Valley of Mexico City*. Geofísica Internacional (in print). 1995.
- Birkle, P. *Hydrogeological Solutions for the Water Problem of Mexico City, Especially the Use of Potential Deep Aquifer System*. Informe 11/5016/P/III, Instituto de Investigaciones Eléctricas, Departamento de Geotermia (informe interno). México, 1994a.
- Birkle, P. *Three-Dimensional Geological and Hydrogeological Model for the Valley of Mexico City*. Instituto de Investigaciones Eléctricas, Departamento de Geotermia (Informe Interno). México, 1994b.
- Durazo & Farvorlden *The Groundwater Regime of the Valley of Mexico from Historic Evidence and Field Observations*. Journal of Hydrology, 12, p. 171-190. 1989.
- Oviedo de León, A. *El conglomerado Texcoco y el posible origen de la cuenca de México*. Revista del Instituto Mexicano del Petróleo, p. 5-20. 1970.
- Secretaría de Hacienda y Crédito Público, SHCP. *Proyecto Texcoco*, México. 1969.
- Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, SARH, y Comisión del Plan Nacional Hidráulico, CPNH, *Plan Nacional Hidráulico*. México, 1981.
- Torres-Rodríguez, V. *Estudio de pre-factibilidad técnica para la extracción de agua de acuíferos profundos del valle de México*. Propuesta de investigación al Comité de Planeación para el Desarrollo del Distrito Federal (informe interno). Instituto de Investigaciones Eléctricas. México, 1993.
- Petróleos Mexicanos, PEMEX. *Interpretación geológica del subsuelo de la Ciudad de México*, 66 p. México, 1987a.
- Petróleos Mexicanos, PEMEX. *Estudio geofísico del subsuelo de la Ciudad de México*, 71 p. México, 1987b.

Abstract

Birkle, P., et al., "Preliminary Evaluation of the Potential of Deep Aquifers in the Mexican Valley Basin". *Hydraulic Engineering in Mexico (in Spanish)*. Vol X. Num. 3, pages 47-53, September-December, 1995.

The falling piezometric level in wells, damage to buildings and infrastructure in Mexico City and the low quality of drinking water in the Mexican Valley Basin are the result of the overexploitation of the shallow aquifers. Alternatives must be sought from more efficient water use, to improved management and exploitation of the basin, to the development of the regional deep aquifers. With information from lithological studies of the deep wells, Roma-I, Mixhuca-I and Texcoco-I, a hydrogeological section was projected across the metropolitan area in a W-NE direction, through the urban center. Areas were selected, based on their lithological characteristics, that show favorable conditions of water storage. The central urban area toward the west of the basin seems appropriate for deep aquifers, due to the tuffs, breccias and conglomerates. The depths of these potential aquifers vary from 320 to 1220 m in the western part of the Valley (Roma-I well) to 380 to 860 m in the central area (Mixhuca-I well). To verify this hypothesis, new perforations are needed to investigate the deep aquifers including the definition of lithostratigraphic units; samples from isolated sections of the aquifer; chemical, biochemical and isotopic water studies; age determinations; complete petrographical characterization of drilling cores; and in situ testing to define storage parameters, hydraulic conductivity and transmissibility.

Key words: deep aquifers, deep wells, piezometric level, lithological study, water storage, mexican valley basin.